



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ Patentschrift  
⑩ DE 101 14 825 C 1

⑤ Int. Cl. 7:  
G 01 K 7/01  
H 01 L 23/58  
G 01 K 7/32  
G 01 K 7/00

⑳ Aktenzeichen: 101 14 825.9-52  
㉔ Anmeldetag: 26. 3. 2001  
㉕ Offenlegungstag: -  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 10. 10. 2002

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

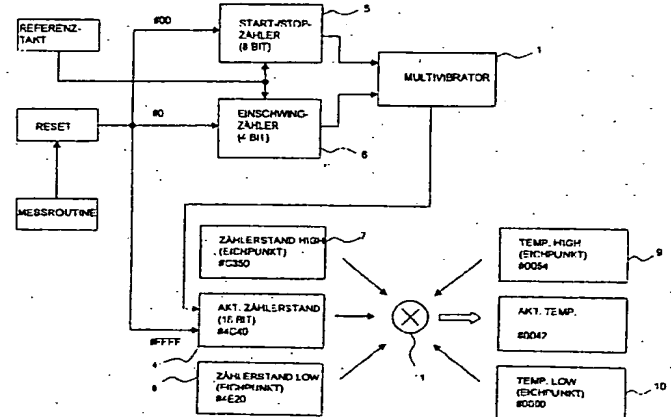
⑦③ Patentinhaber:  
Infineon Technologies AG, 81669 München, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner, 80801  
München

⑦② Erfinder:  
Perner, Martin, Dr., 81243 München, DE  
  
⑤⑤ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
US 60 78 208  
Z.: Elektronik 20/2.10.1987, S.67-70;

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln einer Betriebstemperatur bei einem Halbleiterbauelement

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb, wobei das Halbleiterbauelement einen PROM-Speicherbereich (7, 8), der von außen auslesbar ist, und eine Programmierereinrichtung zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs des Halbleiterbauelements umfasst.

Um einfach, schnell und platzsparend eine analog-digitale On-Chip-Temperaturmessung auf einem Halbleiterbauelement zu ermöglichen, umfasst das Verfahren die Schritte: a) Erzeugen (12) einer ersten Temperatur in dem Halbleiterbauelement, b) Erzeugen (19) eines Messsignals durch einen Multivibrator (1), der eine Messschaltung (2) und eine Treiberschaltung (3) umfasst, wobei die Frequenz des Messsignals von der Temperatur der Messschaltung in dem Halbleiterbauelement abhängt, c) Erfassen (21) der Frequenz des Messsignals in einem vorgegebenen Messintervall durch einen Frequenzzähler (4), d) Abspeichern (15) der erfassten Frequenz in dem PROM-Speicherbereich des Halbleiterbauelements durch die Programmierereinrichtung und e) Wiederholen (16) der Schritte b) bis d) bei einer zweiten Temperatur, so dass die bei der ersten Temperatur erfasste Frequenz und die bei der zweiten Temperatur erfasste Frequenz in dem PROM-Speicherbereich (7, 8) des Halbleiterbauelements abgelegt ist.



DE 101 14 825 C 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und Vorrichtung zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb, wobei das Halbleiterbauelement einen PROM-Speicherbereich, der von außen auslesbar ist, und eine Programmierereinrichtung zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs des Halbleiterbauelements umfasst, bei dem die Betriebstemperatur durch Interpolation zwischen einem ersten Eichwert und einem zweiten Eichwert in Abhängigkeit von einem aktuellen Messwert ermittelt wird.

[0002] Die Bestimmung der Betriebstemperatur ist bei vielen Halbleiterbauelementen wichtig. So ist beispielsweise in der DRAM-Fertigung die genaue Kenntnis der Junction-Temperatur für die Planung und Dimensionierung eines sog. Guardband von großer Bedeutung, da von der Junction-Temperatur die Retention und somit die Bestimmung der Refresh-Parameter abhängt.

[0003] Zur Bestimmung der Betriebstemperatur sind Sensoren aus bestimmten Metallen, dotierten Halbleitern und Legierungen bekannt, aus deren temperaturabhängiger Widerstandskennlinie die Temperatur abgeleitet werden kann. Einzelheiten hierzu findet man beispielsweise in Tietze Schenk, Halbleiter Schaltungstechnik, neunte Auflage 1991, Kap. 26, Temperaturmessungen. Als Sensorentypen sind PT100-, Nickel-Eisen-Widerstände oder der Platin-Normwiderstand bekannt. Je nach Temperaturbereich unterscheidet man zwischen Kaltleitersensoren, die den Bereich zwischen -100°C bis 200°C abdecken, und Heißleitersensoren, die den Bereich zwischen 1000°C und 7000°C abdecken. In der Fertigung von Chips auf Siliziumbasis ist die Widerstandskennlinie von dotiertem Silizium nützlich, möchte man die Temperatur auf dem Chip messen. Für Silizium ergibt sich als Beziehung zwischen Widerstand und Temperatur

$$R_{\vartheta} = R_{25} \cdot (1 + 7,95 \cdot 10^{-3}(\Delta\vartheta/^{\circ}\text{C}) + 1,95 \cdot 10^{-5}(\Delta\vartheta/^{\circ}\text{C})^2),$$

wobei  $\vartheta$  die Temperatur in °C ist und  $\Delta\vartheta$  in Bezug auf 25°C gemessen wird, d. h.  $\Delta\vartheta = \vartheta - 25^{\circ}\text{C}$ .

[0004] Um die Messung des Sensorwiderstandes unabhängig von den Leitungswiderständen zu machen, wird im Allgemeinen eine Vierdraht-Widerstandsmessung durchgeführt. Bei einer externen Bestimmung der Chiptemperatur kann aber nicht auf die Siliziumtemperatur geschlossen werden, da diese von dem thermischen Widerstand der Chip-Gehäuses abhängt und einen (wenn auch geringen) endlichen Wärmeleitwiderstand besitzt. Daher ist die Betriebstemperatur des Siliziums (Junction-Temperatur) um einige Grad höher als an der Gehäuseoberfläche. Um auf die Siliziumtemperatur schließen zu können, kann die Junction-Temperatur einer in Sperrspannung betriebenen Diode oder einer Basis-Emitterstrecke herangezogen werden. Dabei werden zwei von dem Gehäuse des Prüflings abgreifbare Pins benutzt, sofern diese zugänglich sind und nicht den Betrieb des Bauelements behindern. Vorteil dieser Methode ist der einfache externe Zugang bei der Messung der Junction-Temperatur im Silizium, nachteilig ist aber, dass für jeden Prüfling eine elektrische Präparation durchzuführen ist, die aufwendig oder bisweilen sogar unmöglich ist, wenn das Chip-Package keine Verdrahtung aufweist (Bord-On-Chip/ $\mu$ BGA Ball Grid Array/CSP Chip-Size Package). Oftmals leidet sogar die Messgenauigkeit der Temperaturbestimmung aufgrund von Wackelkontakten oder thermischem Rauschen an den Lötverbindungen, was einer einheitlichen, definierten und weitgehend störungsfreien Messvorschrift zur Temperaturbestimmung zuwiderläuft.

[0005] Bei dem RDRAM-Chiptyp von Rambus wurde erstmals ein Temperatursensor auf einem Speicherbauelement eingebaut, der eine Grenztemperatur abprüfen und ein Status-Bit bei einer bestimmten Schwellentemperatur setzen soll. Dieser Umschaltunkt liegt bei etwa 90°C und soll die Grenze der thermischen Belastung des Chips markieren. Zur Bestimmung der Schwellentemperatur arbeitet der Sensor im RDRAM mit Hilfe der Band-Gap-Referenzspannung, die im Prinzip genau definiert ist und zur genauen Bestimmung der Temperaturgrenze benutzt werden kann. In der Realität ist die Schwellentemperatur aufgrund der Prozessschwankungen nur mit einer Genauigkeit von 10% vorhersagbar, weswegen letzten Endes doch eine nachträgliche 4 Bit aufgelöste Soft-Fuse Option für die genaue Einstellung der Schwellentemperatur des Sensors eingesetzt werden muss. Nachteilig bei dieser Bestimmung der Schwellentemperatur ist, dass nur der Übergang zwischen zwei Temperaturbereichen messbar ist, nicht jedoch die absolute Temperatur.

[0006] Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine dazu erfundene kombinierte Analog-Digital-Mess-/Wandler-Schaltung für eine einfache, schnelle und platzsparende integrierte analog-digitale On-Chip-Temperaturmessung zu schaffen, mit dem die Silizium-Temperatur (Junction-Temperatur) auf einem Halbleiterbauelement gemessen werden kann.

[0007] Diese Aufgabe wird gelöst durch das Verfahren nach Anspruch 1 sowie die Vorrichtung nach Anspruch 4. Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0008] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, die gezielt temperaturabhängig gemachte Zeitkonstante eines Multivibrators zur Erzeugung von Triggerpulsen zu verwenden. Die somit temperaturabhängige Anzahl der Triggerpulse in einem definierten Zeitintervall dient als Taktgeber für eine Zählereinheit und ist somit ein Maß für die Temperatur. Die Temperatur kann so im Rahmen der intrinsischen Messgenauigkeit eindeutig und definiert bestimmt werden.

[0009] Das erfindungsgemäße Verfahren zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb, wobei das Halbleiterbauelement einen PROM-Speicherbereich, der von außen auslesbar ist, und eine Programmierereinrichtung zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs des Halbleiterbauelements umfasst, ist gekennzeichnet durch die Schritte: a) Erzeugen einer ersten Temperatur in dem Halbleiterbauelement, b) Erzeugen eines Messsignals durch einen Multivibrator, der eine Messschaltung und eine Treiberschaltung umfasst, wobei die Frequenz des Messsignals von der Temperatur der Messschaltung in dem Halbleiterbauelement abhängt, c) Erfassen der Frequenz des Messsignals in einem vorgegebenen Messintervall durch einen Frequenzzähler, d) Abspeichern der erfassten Frequenz in dem PROM-Speicherbereich des Halbleiterbauelements durch die Programmierereinrichtung, e) Wiederholen der Schritte b) bis d) bei einer zweiten Temperatur, so dass die bei der ersten Temperatur erfasste Frequenz und die bei der zweiten Temperatur erfasste Frequenz in dem PROM-Speicherbereich des Halbleiterbauelements abgelegt ist. Die beiden Frequenzwerte können als Eichpunkte für jede weitere Temperaturbestimmung genutzt werden.

[0010] Vorzugsweise liegt die Dauer des vorgegebenen Messintervalls zwischen 1 und 2 ms und wird durch eine extern

an das Halbleiterbauelement angelegte Referenzfrequenz vorgegeben, die nicht temperaturabhängig ist.

[0011] Bei einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird neben dem jeweiligen Zählerstand die erste Temperatur und die zweite Temperatur in dem PROM-Speicherbereich des Halbleiterbauelements abgespeichert.

[0012] Die erfindungsgemäße Vorrichtung zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb, wobei das Halbleiterbauelement einen PROM-Speicherbereich, der von außen auslesbar ist, und eine Programmierereinrichtung zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs des Halbleiterbauelements umfasst, ist gekennzeichnet durch einen Multivibrator zum Erzeugen eines Messsignals, der eine Messschaltung und eine Treiberschaltung umfasst, wobei die Frequenz des Messsignals von der Temperatur der Messschaltung in dem Halbleiterbauelement abhängt, und einen Frequenzzähler zum Erfassen der Frequenz des Messsignals in einem vorgegebenen Messintervall. Das Messintervall wird von außen vorgegeben und ist somit temperaturunabhängig.

[0013] Die Messschaltung in dem Halbleiterbauelement zur Temperaturmessung umfasst vorzugsweise wenigstens eine Diode, einen Transistor und/oder einen Siliziumwiderstand, die über den Bereich der Schaltung auf dem Chip verteilt sind oder an thermisch kritischen Stellen der Schaltung auf dem Chip angeordnet sind.

[0014] Vorzugsweise weist die Messschaltung in dem Halbleiterbauelement eine lineare Temperatur-Widerstandskennlinie auf.

[0015] Besonders bevorzugt ist die Messschaltung des Multivibrators in dem Halbleiterbauelement stärker temperaturabhängig als die Treiberschaltung des Multivibrators, die insbesondere keinerlei oder nur geringe Temperaturabhängigkeit aufweist.

[0016] Die Vorteile der erfindungsgemäßen Schaltung sind vielfältig. Die Messung der Temperatur ist unabhängig von Prozessschwankungen bei der Herstellung der Schaltung und braucht nicht getrimmt zu werden. Aus dem einmal in der Fertigung geeichten Temperatursensor kann die aktuelle Temperatur jederzeit (mittels Mode-Register-Set Funktionen für DRAMs) abgerufen werden. Damit kann die Junction-Temperatur während der Chip-Fertigung auf Wafer-, Bauelement und Modul-Ebene und in der Applikation ohne großen Messaufwand bestimmt werden. In verschiedene Typen eines Produktspektrums von Halbleiterbauelementen eingebaut, können bei der erfindungsgemäßen Schaltung die thermischen Eigenschaften der Bauelemente mittels eines einheitlichen Messverfahrens produktspektrumübergreifend und vor allem einheitlich in der Fertigung und in der Applikation beurteilt werden. Ferner kann die Temperatur jederzeit aus dem Chip gelesen werden, auch innerhalb des Pattern-Runs, bei Chip-Packages, die schlecht zugänglich sind, und in der Standard-Applikation, wenn ein entsprechend ausgerichteter Controller-Chip die Abfrage der Temperatur unterstützt.

[0017] Weitere Vorteile bestehen darin, dass eine On-Chip-Lösung auf Silizium möglich ist und eine Temperaturmessung während der Fertigung und bei Tests des Bauelements aktivierbar und im Betrieb möglich ist (bei DRAMs speziell in der Mode-Register Set-Funktion); die Temperatur kann (evtl. binär gewandelt) direkt über einen Baustein-Pin getaktet ausgegeben und abgelesen werden; eine Temperaturkalibrierung während der Fertigung mittels Fuses bei definierten Referenztemperaturen benötigt keine Band-Gap-Referenz-Einstellung.

[0018] Für die Erfindung wird kein zusätzlicher A/D-Wandler zur Wandlung des analogen Messsignals (z. B. einer Spannung) benötigt, da ein Multivibrator als temperaturabhängiger Zählimpulsgeber fungiert. Somit wird für die erfindungsgemäße Schaltung nur wenig Platz auf dem Chip benötigt. Es können sogar mehrere, adressierbare Sensoren (RC-Glieder/Dioden) für einen Chip integriert werden.

[0019] Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus der folgenden Beschreibung, bei der auf die beigefügten Zeichnungen Bezug genommen wird.

[0020] Fig. 1 zeigt ein Blockdiagramm der Hauptkomponenten einer Ausführungsform der Vorrichtung gemäß der Erfindung.

[0021] Fig. 2 zeigt den an sich bekannten Aufbau eines Multivibrators mit einer Ausführungsform der Aufteilung gemäß der Erfindung in interne Messschaltung und externe Treiberschaltung.

[0022] Fig. 3 zeigt den Ablauf einer Ausführungsform des Verfahrens gemäß der Erfindung als Flussdiagramm.

[0023] Fig. 4 zeigt den Ablauf einer Ausführungsform einer Subroutine des Verfahrens als Flussdiagramm.

[0024] In Fig. 1 ist die Vorrichtung zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb dargestellt. Das Halbleiterbauelement umfasst einen PROM-Speicherbereich, der von außen auslesbar ist. In diesem PROM-Speicherbereich (sog. fuse map) werden unveränderbare Daten des Halbleiterbauelements eingespeichert, wie z. B. die Typen-Identifizierungsnummer des Halbleiterbauelements o. ä. Für das Einspeichern von Daten in den PROM-Speicherbereich bzw. zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs umfasst das Halbleiterbauelement eine (nicht dargestellte) Programmierereinrichtung.

[0025] In vielen Fällen ist es notwendig, bei Halbleiterbauelementen eine On-Chip-Temperaturmessung durchzuführen, damit eine eventuelle thermische Überlastung des Bauelements vermieden werden kann. Für eine einfache und schnelle Messung umfasst die Vorrichtung nach Fig. 1 einen Multivibrator 1 zum Erzeugen eines Messsignals. Das Messsignal wird von einem Frequenzzähler 4 erfasst. Der prinzipielle Aufbau des Multivibrators 1 wird weiter unten mit Bezug auf Fig. 2 erläutert. Vorerst ist es nur von Bedeutung, dass der Multivibrator 1 durch einen von außen (d. h. temperaturunabhängig) gesteuerten Start-/Stop-Zähler 5 gestartet und gestoppt werden kann, so dass die Dauer der Erzeugung des Messsignals durch den Multivibrator 1 von außen genau vorgegeben werden kann. Die Genauigkeit der Messdauer ist dabei durch die Datenbreite des Start-/Stop-Zählers 5 bestimmt, in der vorliegenden Ausführungsform beträgt diese 8 Bit. Um bei Präzisionsmessungen unabhängig von Schwankungen der Messsignalerzeugung in der Startphase zu sein, wird in der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform die Einschwingphase des Multivibrators 1 abgewartet, wozu ein (von außen und temperaturunabhängig getakteter) Einschwingzähler 6 vorgesehen ist. Der Einschwingzähler 6 ist in der gezeigten Ausführungsform so ausgelegt, dass er bis zu 16 Referenz-Schwingungen abwartet, bevor die eigentliche Messung der Temperatur zugelassen wird (er hat also eine Breite von 4 Bit).

[0026] Der Zählerstand des Frequenzzählers 4 kann in dem PROM-Speicherbereich, der von außen auslesbar ist, abgespeichert werden. In der Ausführungsform nach Fig. 1 sind dafür zwei Register vorgesehen, nämlich ein Speicher 7 für den Zählerstand "HIGH" und ein Speicher 8 für den Zählerstand "LOW". Die in dem Speicher 7 und 8 abgelegten Werte dienen als Eichpunkt für die späteren Messungen. Diese Eichpunkte werden bei der Fertigung des Halbleiterbauelements

bestimmt und gespeichert, was weiter unten mit Bezug auf Fig. 3 und Fig. 4 erläutert werden wird.

[0027] Darüber hinaus umfasst die Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung nach Fig. 1 ein weiteres Register 9 für die Abspeicherung der Temperatur, bei der der Zählerstand "HIGH" abgespeichert wurde. Mit anderen Worten, in dem Register 9 ist die Temperatur "HIGH" abgespeichert. Analog ist in einem weiteren Register 10 als zweiter

5 Eichpunkt die Temperatur "LOW" zu dem Zählerstand "LOW" im Register 8 abgelegt.

[0028] Um die aktuell herrschende Temperatur des Halbleiterbauelements zu bestimmen werden beim Aufruf der Messroutine alle variablen Zähler durch einen Reset auf Null bzw. einen Anfangswert gesetzt. Der Start-/Stop-Zähler 5 wird also in hexadezimaler Darstellung auf #00 gesetzt, der Einschwingzähler 6 wird in hexadezimaler Darstellung auf #0 gesetzt, und Frequenzzähler 4 wird in hexadezimaler Darstellung beispielsweise auf den Anfangswert #FFFF gesetzt, von dem er dann abwärts bis auf #0000 zählt. Der Start-/Stopzähler 5 – sowie in dieser Ausführungsform der Einschwingzähler 6 – wird durch eine externe Referenzfrequenz getaktet, so dass die Temperaturstabilität der beiden Zähler

10 5 und 6 gewährleistet ist.  
[0029] Nach Start des Multivibrators 1 durch den Start-/Stop-Zähler 5 und nach Ablauf der Einschwingphase, deren Ende durch den Einschwingzähler 6 bestimmt wird, beginnt der Frequenzzähler 4 zu zählen, bis bei Ende der Messdauer durch den Start-/Stop-Zähler 5 der Multivibrator 1 angehalten wird. Aus dem dann am Ausgang des Frequenzzählers 4 anliegenden Zählerstand sowie den in den Registern 7, 8, 9 und 10 abgespeicherten Werten lässt sich nach der Gleichung

$$T_{akt} = \frac{HighTemp - LowTemp}{HighZähler - LowZähler} \cdot (AktZähler - LowZähler) + LowTemp$$

20 die Temperatur T<sub>akt</sub> des Halbleiterbauelements bestimmen. Dabei ist "HighTemp" der im Speicher 9 abgelegte Temperatureichpunkt, "LowTemp" der im Speicher 10 abgelegte Temperatureichpunkt, "HighZähler" der im Speicher 7 abgelegte Zählereichpunkt, "LowZähler" der im Speicher 8 abgelegte Zählereichpunkt und "AktZähler" der am Ausgang des Frequenzzählers 4 anliegenden Zählerstand.

25 [0030] Die Bestimmung der aktuellen Temperatur des Halbleiterbauelements erfolgt in einer Recheneinheit 11, die mit den Speichern 7, 8, 9 und 10 sowie mit dem Ausgang des Frequenzzählers 4 verbunden ist. Die Eingangsgrößen der Recheneinheit 11 sind in Fig. 1 mit einfachen Pfeilen dargestellt. Am Ausgang der Recheneinheit 11 liegt die aktuelle Temperatur z. B. als Hexadezimalzahl vor. Der Ausgang der Recheneinheit 11 ist als Doppelpfeil dargestellt.

30 [0031] Als Beispiel sei angenommen, dass der im Speicher 9 abgelegte Temperatureichpunkt "HighTemp" den Wert 100°C habe, der im Speicher 10 abgelegte Temperatureichpunkt "LowTemp" den Wert 0°C habe, der im Speicher 7 abgelegte Zählereichpunkt "High-Zähler" den Wert 50000 habe, der im Speicher 8 abgelegte Zählereichpunkt "LowZähler" den Wert 20000 habe und am Ausgang des Frequenzzählers 4 als Zählerstand "AktZähler" der Wert 40000 anliege. Dann ergibt sich nach der obigen Gleichung für die Temperatur T<sub>akt</sub> des Halbleiterbauelements

$$35 \quad T_{akt} = \frac{100^{\circ}C - 0^{\circ}C}{50000 - 20000} \cdot (40000 - 20000) + 0^{\circ}C$$

$$= 66,7^{\circ}C.$$

40 [0032] Der Ausgangswert der Recheneinheit ist in diesem Fall #0042. Somit lässt sich die tatsächliche Temperatur des Halbleiterbauelements mit den genannten Zählern und Speichern jederzeit bestimmen.

[0033] In Fig. 2 ist der an sich bekannte prinzipielle Aufbau eines Multivibrators 1 gezeigt. Der Multivibrator 1 erzeugt ein Signal mit zwei Schaltzeiten, wobei eine der beiden Frequenzen durch den Wert von Rund C bestimmt ist. Der Multivibrator 1 ist aufgeteilt in eine Messschaltung, die als gestricheltes Rechteck 2 in Fig. 2 dargestellt ist und dem RC-Glied entspricht, sowie eine Treiberschaltung, die als strichpunktiertes Polygon 3 in Fig. 2 dargestellt ist und dem Rest der Multivibratorschaltung entspricht. Die Messschaltung 2 zur Temperaturmessung ist in engem thermischen Kontakt mit dem Halbleiterbauelement angeordnet, damit das RC-Glied auf der gleichen Temperatur liegt wie das übrige Halbleiterbauelement. Um einen möglichst engen thermischen Kontakt zwischen der Messschaltung 2 und dem Halbleiterbauelement sicherzustellen, ist daher insbesondere die Messschaltung 2 in dem Halbleiterbauelement integriert.

50 [0034] Die Temperatur des Halbleiterbauelements wird bestimmt, indem die temperaturabhängige Frequenz des Multivibrators 1 erfasst wird, die durch R und C in der Messschaltung 2 bestimmt ist. Bei dem Start der Messroutine kippt der Multivibrator 1 kontinuierlich mit einer vorgegebenen Frequenz, die durch die RC-Zeitkonstante der Messschaltung 2 festgelegt wird. In der Ausführungsform nach Fig. 2 ist die Messschaltung 2 mit einem konventionellen Widerstand R und einem konventionellen Kondensator C dargestellt. Der Widerstand R kann aber ein Siliziumwiderstand in dem Halbleiterbauelement sein, oder es kann stattdessen eine Diode oder ein Transistor verwendet werden. Insbesondere ist eine

55 Kombination von mehreren dieser Elemente möglich, die insbesondere über die Fläche des Halbleiterbauelements auf dem Chip verteilt werden, um so einen für das Halbleiterbauelement repräsentativen Temperaturwert zu messen. Es können aber ebenso ein oder mehrere Elemente an der oder den thermisch kritischen Orten des Halbleiterbauelements angeordnet werden.  
[0035] Vorzugsweise hat für eine einfache Berechnung der On-Chip-Temperatur die Messschaltung 2 eine lineare Temperatur-Widerstandskennlinie. Die RC-Zeitkonstante der Messschaltung 2 ist somit eine lineare mit steigender Temperatur fallende Messgröße, die die Oszillatorfrequenz verkleinern würde. In dem Temperaturbereich von -50 bis +150°C verdoppelt sich in etwa der Widerstand des Siliziums. Wird anstelle des Widerstands R eine in Sperrrichtung betriebene Diode verwendet, so ist die Temperaturabhängigkeit dadurch gegeben, dass sich die Sperrspannung in dem genannten Temperaturbereich typischerweise um den Faktor 2 vermindert. Beide Sensorentypen könnten als On-Chip-Sensoren einzeln oder in Kombination verwendet werden.

60 [0036] Der Kondensator C der Messschaltung 2 ist nicht notwendigerweise in dem Halbleiterbauelement integriert, er kann auch extern angeordnet sein.

[0037] Die Multivibratorstufe soll nicht temperaturabhängig oszillieren. Da die Treiberschaltung 3 aber reale Transi-

storen und (Leitungs-)Widerstände enthält, die die Oszillatorfrequenz mitbestimmen, wird diese ebenso einen geringen linearen Frequenzgang aufweisen. Die Treiberschaltung 3 befindet sich daher vorzugsweise außerhalb des Halbleiterbauelements, um diesen Teil des Multivibrators 1 unabhängig von der Temperatur des Halbleiterbauelements betreiben zu können. Die Treiberschaltung 3 wird daher im folgenden als externe Treiberschaltung 3 bezeichnet. (Dem Fachmann ist jedoch klar, dass die Treiberschaltung auch in dem Halbleiterbauelement integriert sein kann, wobei dann die Temperaturabhängigkeit des Messsignals auch durch die interne Treiberschaltung beeinflusst wird und damit evtl. die Linearität zwischen Temperatur und Messsignalfrequenz verloren geht.) Dadurch dass die externe Treiberschaltung 3 außerhalb des Halbleiterbauelements angeordnet ist, ist sichergestellt, dass die Messschaltung 2 des Multivibrators in dem Halbleiterbauelement stärker temperaturabhängig ist als die externe Treiberschaltung 3 des Multivibrators. Mit anderen Worten, die Entlade-RC-Konstante der Messschaltung 2 des Multivibrators oder die Regelspannung einer Diodengegenspannungsquelle wird stärker temperaturabhängig dimensioniert als die Transistoren der Treiberschaltung 3 selbst.

[0038] Das Verfahren zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb wird im folgenden anhand von Fig. 3 und Fig. 4 erläutert.

[0039] Die Temperaturermittlung zur Eichung der Schaltung während der Fertigung wird mittels einer Zweipunkteichung auf Wafer-Ebene bestimmt. Je nach Betriebszustand müssen einige Minuten gewartet werden, bis eine sinnvolle Eichung der Silizium-Temperatur möglich ist, wenn sich die Chips auf dem Wafer im thermischen Gleichgewicht befinden. Im Frontend ist dies ohne großen Zeitaufwand möglich, da der Wafer schnell auf Umgebungstemperatur kommt. Der im thermischen Gleichgewicht befindliche Chip wird bei definierter Niedrig-, Raum- oder Hochtemperatur der Umgebung initialisiert, und es wird anschließend sofort eine Mittelwertmessung der Temperatur durchgeführt, indem die aktuellen Zählerstände permanent ausgelesen und extern gemittelt werden. Die ermittelten Werte werden in den High- und Low-Registern als Eichpunkte abgelegt (gefused). Nach der Eichung können bei einer Messroutine, die während des Betriebs des Bauelements stattfinden kann, beide Eichpunkte zusammen mit der aktuellen Temperaturergebnis über die DQ-Pins ausgegeben.

[0040] Mit anderen Worten, bei der Fertigung des Halbleiterbauelements wird in einem Schritt 12 eine erste Temperatur in dem Halbleiterbauelement eingestellt. Diese und alle weiteren Temperatureinstellungen erfolgen vorzugsweise in einem (nicht dargestellten) Ofen, der die Erzeugung einer genau definierten Temperatur zulässt. Die eigentlichen Mess- und Einstellungs- bzw. Initialisierungsschritte folgen erst, wenn bei einer kontinuierlich ausgeführten Abfrage 13 festgestellt wird, dass sich ein thermisches Gleichgewicht im Ofen und in dem Halbleiterbauelement eingestellt hat. Wenn dieses thermische Gleichgewicht herrscht, wird die Temperatur des Halbleiterbauelements gemessen. Die einzelnen Schritte dieser Messroutine werden weiter unten mit Bezug auf Fig. 4 erläutert. Wie bereits oben beschrieben basiert die Temperaturmessung im wesentlichen auf einer Frequenzzählung. Der entsprechende Wert am Ausgang des Frequenzzählers 4 in Fig. 1 wird nach der Temperaturmessung in Schritt 15 abgespeichert in den Speichern 7, und 9 als Zählereichpunkt "HighZähler" bzw. als Temperatureichpunkt "HighTemp". In Schritt 16 wird bestimmt, ob ein weiterer Wert bei einer zweiten Temperatur gemessen und Abgespeichert werden soll. Falls ja, wird in Schritt 17 die zweite Temperatur in dem Ofen und auf dem Halbleiterbauelement eingestellt, und die Schritte 13 bis 15 werden bei dieser zweiten Temperatur wiederholt. Die zweiten Werte werden als Zählereichpunkt "LowZähler" im Speicher 8 bzw. als Temperatureichpunkt "LowTemp" im Speicher 10 abgelegt.

[0041] Diese Messprozedur wird für alle Halbleiterelemente einer Charge durchgeführt und endet erst, wenn in Schritt 18 festgestellt wird, dass alle Halbleiterbauelemente dieser Charge in Bezug auf die Temperaturmessung eingestellt worden sind.

[0042] In Fig. 4 ist die Subroutine zur Messung der Temperatur auf dem Halbleiterbauelement mit der Vorrichtung nach Fig. 1 im einzelnen gezeigt. Nach der Einstellung des thermischen Gleichgewichtes in dem Halbleiterbauelement, die in Schritt 13 festgestellt wurde, wird in Schritt 19 das Messsignal durch den Multivibrator 1 erzeugt. Die Frequenz des Messsignals hängt über den temperaturabhängigen Wert des Widerstandes R von der Temperatur in dem Halbleiterbauelement ab und wird in einem durch den Start-/Stop-Zähler 5 vorgegebenen Messintervall durch den Frequenzzähler 4 erfasst. Vor dem Erfassen der Frequenz des Messsignals durch den Frequenzzähler 4 in Schritt 21 wird jedoch in Schritt die durch den Einschwingzähler 6 vorgegebene Einschwingdauer abgewartet.

[0043] Nachdem in Schritt 22 das Ende der Messdauer erkannt worden ist, die vorzugsweise eine Länge zwischen 1 und 2 ms hat, wird in Schritt 23 der Zählerstand des Frequenzzählers 4 ausgelesen. In der in Fig. 4 dargestellten Ausführungsform des Verfahrens wird in Schritt 24 zusätzlich die Temperatur des Ofens eingelesen. Sowohl die in Schritt 23 erfasste Frequenz als auch die in Schritt 24 erfasste Temperatur wird in Schritt 15 in dem PROM-Speicherbereich 7, 8, 9 und 10 des Halbleiterbauelements durch die Programmiereinrichtung abgespeichert.

[0044] Mit Hilfe der Erfindung kann so im Rahmen der intrinsischen Messgenauigkeit die Temperatur des Bauelements eindeutig bestimmt werden. Die Temperaturmessung ist unabhängig von Prozessschwankungen, was vorteilhaft für den Herstellungsprozess der Schaltung ist. Eine nachträgliche Trimmung des Sensors ist nach der Kalibrierung, die in dem Fertigungsprozess automatisch erfolgen kann, nicht mehr notwendig. Aus dem in der Fertigung auf Wafer-Ebene geeichten Temperatursensor kann die aktuelle Temperatur jederzeit abgerufen werden, nämlich sowohl während der Fertigung des Chips, und zwar auf Wafer-, Bauelement- und Modul-Ebene, als auch in der Applikation. Dies eröffnet die Möglichkeit, dass bereits während der Fertigung über die Junction-Temperatur verschiedene Parameter einheitlich und besser kontrolliert werden können. Beispielsweise kann die Burn-In-Temperatur auf Wafer-Ebene gezielt eingestellt werden. Dies wäre insbesondere für die 300 mm-Wafer-Fertigung und die Kontrolle der Temperaturprofile von Bedeutung, um eine definierte Burn-In-Qualität zu erreichen. Selbst bei einer Eichgenauigkeit von 5% Prozent werden keine zusätzlichen systematischen Messfehler bei der internen Temperaturmessung hervorgerufen. Die Ausgabe der Temperatur und Zählerstände als digitale Werte bietet eine enorme Verbesserung bei der reproduzierbaren und vergleichbaren Temperaturbestimmung.

[0045] Im folgenden wird ein quantitatives Beispiel für die Dauer der Messroutine gegeben. Die Messvorrichtung wird bei der Temperaturmessung durch einen Univibrator oder Start-Stop-Zähler einmalig für ein bestimmtes Messintervall aktiviert. Die Temperaturmessung dauert etwa 1 bis 2 ms. Nach jeder Messung liegen die aktuellen Daten in einem Re-

gister bereit und können zusammen mit den Eichparametern aus dem Chip gelesen werden. Bei drei Registerpaaren mit je 16 Bit beträgt die Ausgabe bei einer "Single Data Rate" bei einer Taktfrequenz von 100 MHz  $6 \cdot 16 \cdot 10 \text{ ns} = 9,6 \mu\text{s}$ . Das Registerpaar 7 und 9 enthält den oberen Zählerstand und die obere Eichtemperatur jeweils als binär gespeicherten Wert, das Registerpaar 8 und 10 enthält die jeweiligen Werte für die untere Eichtemperatur, und aus dem aktuellen Zählerstand des Zählers 4 wird der Wert der aktuell herrschenden Temperatur ermittelt.

[0046] Die Erfindung ist nicht auf die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen beschränkt. So können die Treiberschaltungen für die Ausgabe der Daten in dem PROM-Speicherbereich 7, 8, 9 und 10 so ausgelegt sein, dass über sie Daten auch von außen in den PROM-Speicherbereich 7, 8, 9 und 10 geschrieben werden können. Diese von außen in die Register geschriebenen Daten können extern gemittelte Zählerwerte und Eichtemperaturen sein. Die Treiberschaltungen sind in diesem Fall bidirektional ausgelegt.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb, wobei das Halbleiterbauelement einen PROM-Speicherbereich (7, 8), der von außen auslesbar ist, und eine Programmiereinrichtung zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs (7, 8) des Halbleiterbauelements umfasst, bei dem die Betriebstemperatur durch Interpolation zwischen einem ersten Eichwert und einem zweiten Eichwert in Abhängigkeit von einem aktuellen Messwert ermittelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung des ersten und des zweiten Temperaturwerts die Schritte durchgeführt werden:

- a) Erzeugen (12) einer ersten Temperatur in dem Halbleiterbauelement,
- b) Erzeugen (19) eines Messsignals durch einen Multivibrator (1), der eine Messschaltung (2) und eine Treiberschaltung (3) umfasst, wobei die Frequenz des Messsignals von der Temperatur der Messschaltung (2) in dem Halbleiterbauelement abhängt,
- c) Erfassen (21) der Frequenz des Messsignals in einem vorgegebenen Messintervall durch einen Frequenzzähler (4),
- d) Abspeichern (15) der erfassten Frequenz in dem PROM-Speicherbereich (7, 8) des Halbleiterbauelements durch die Programmiereinrichtung und
- e) Wiederholen (16) der Schritte b) bis d) bei einer zweiten Temperatur, so dass die bei der ersten Temperatur erfasste Frequenz und die bei der zweiten Temperatur erfasste Frequenz in dem PROM-Speicherbereich (7, 8) des Halbleiterbauelements als der erste und der zweite Eichwert abgelegt ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das vorgegebene Messintervall zwischen 1 und 2 ms dauert.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch Abspeichern der ersten Temperatur und der zweiten Temperatur in dem PROM-Speicherbereich (7, 8) des Halbleiterbauelements.

4. Vorrichtung zum Ermitteln einer Betriebstemperatur eines Halbleiterbauelements im Betrieb, wobei das Halbleiterbauelement einen PROM-Speicherbereich (7, 8), der von außen auslesbar ist, und eine Programmiereinrichtung zum Programmieren des PROM-Speicherbereichs (7, 8) des Halbleiterbauelements umfasst, bei dem die Betriebstemperatur durch Interpolation zwischen einem ersten Eichwert und einem zweiten Eichwert in Abhängigkeit von einem aktuellen Messwert ermittelt wird, **gekennzeichnet durch**

einen Multivibrator (1) zum Erzeugen eines Messsignals, der eine Messschaltung (2) und eine Treiberschaltung (3) umfasst, wobei die Frequenz des Messsignals von der Temperatur der Messschaltung (2) in dem Halbleiterbauelement abhängt, und einen Frequenzzähler (4) zum Erfassen der Frequenz des Messsignals in einem vorgegebenen Messintervall, wobei die bei der ersten Temperatur erfasste Frequenz und die bei der zweiten Temperatur erfasste Frequenz in dem PROM-Speicherbereich (7, 8) des Halbleiterbauelements als der erste und der zweite Eichwert abgelegt ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Messschaltung (2) in dem Halbleiterbauelement zur Temperaturmessung wenigstens eine Diode, einen Transistor und/oder einen Siliziumwiderstand umfasst.

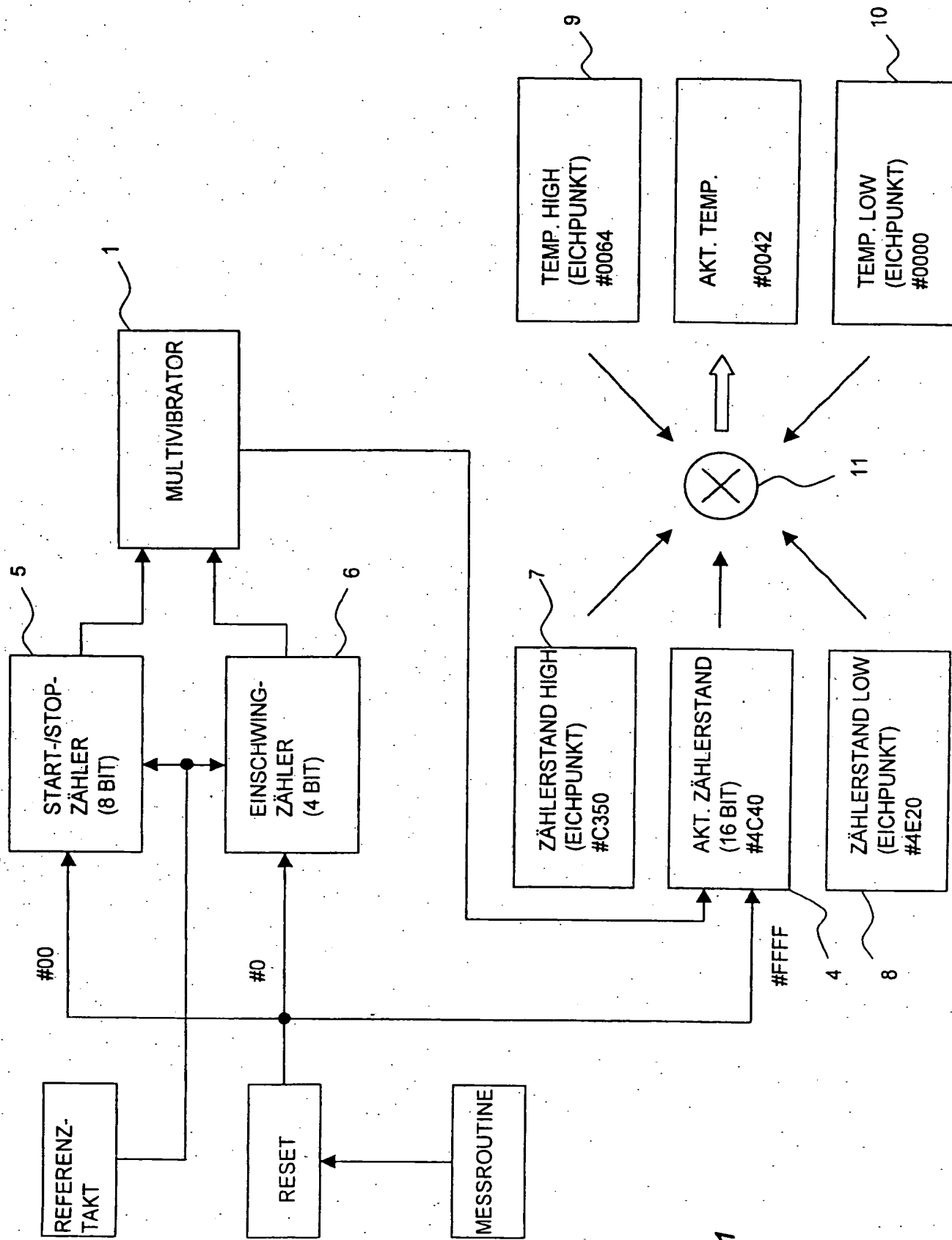
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Messschaltung (2) in dem Halbleiterbauelement eine lineare Temperatur-Widerstandskennlinie aufweist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Messschaltung (2) des Multivibrators in dem Halbleiterbauelement stärker temperaturabhängig ist als die Treiberschaltung (3) des Multivibrators.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---



**FIG. 1**

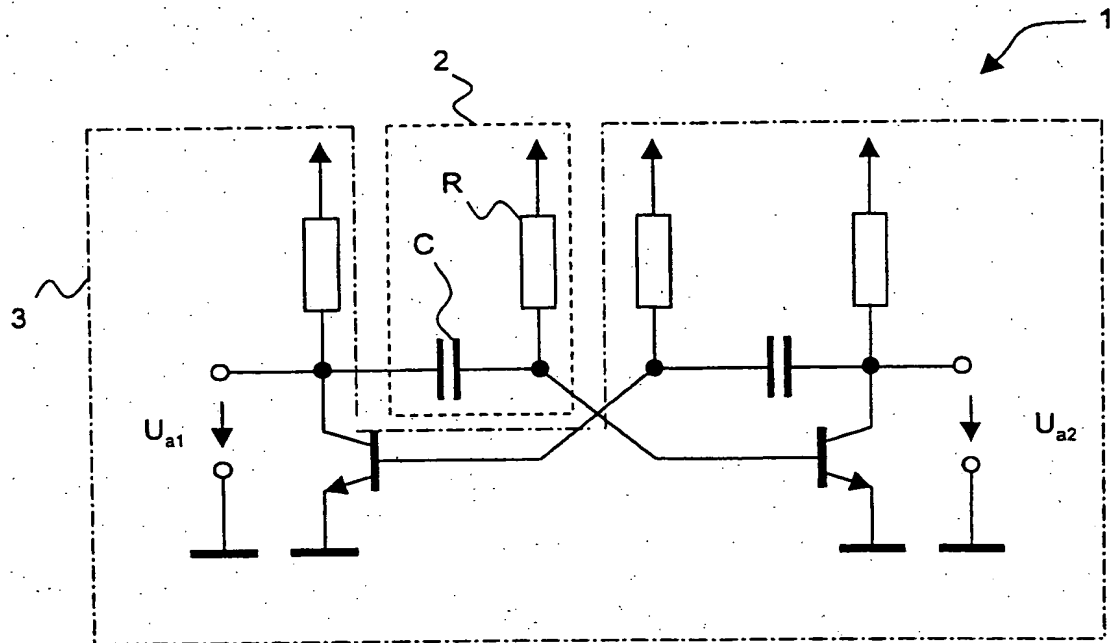


FIG. 2



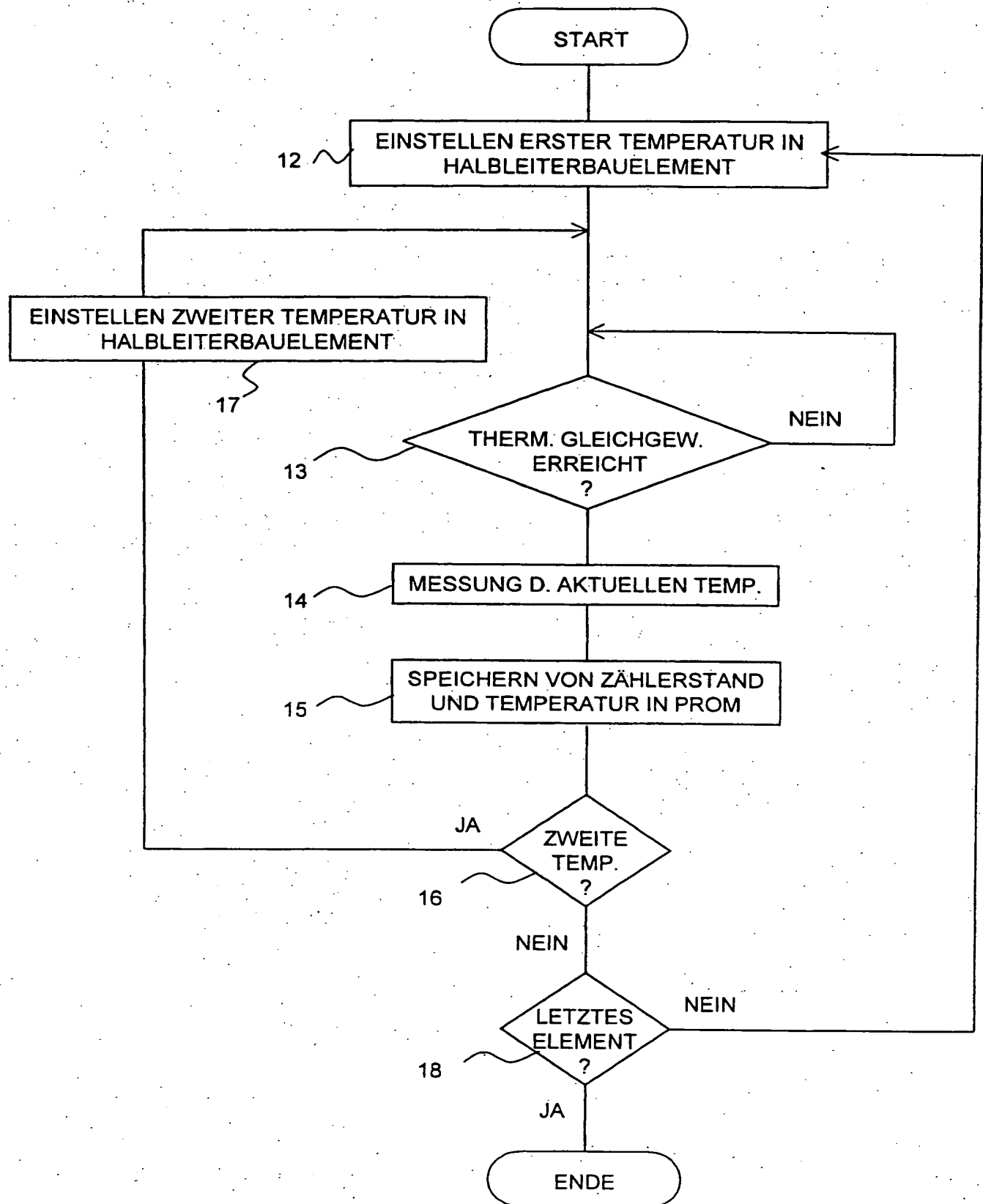


FIG. 3

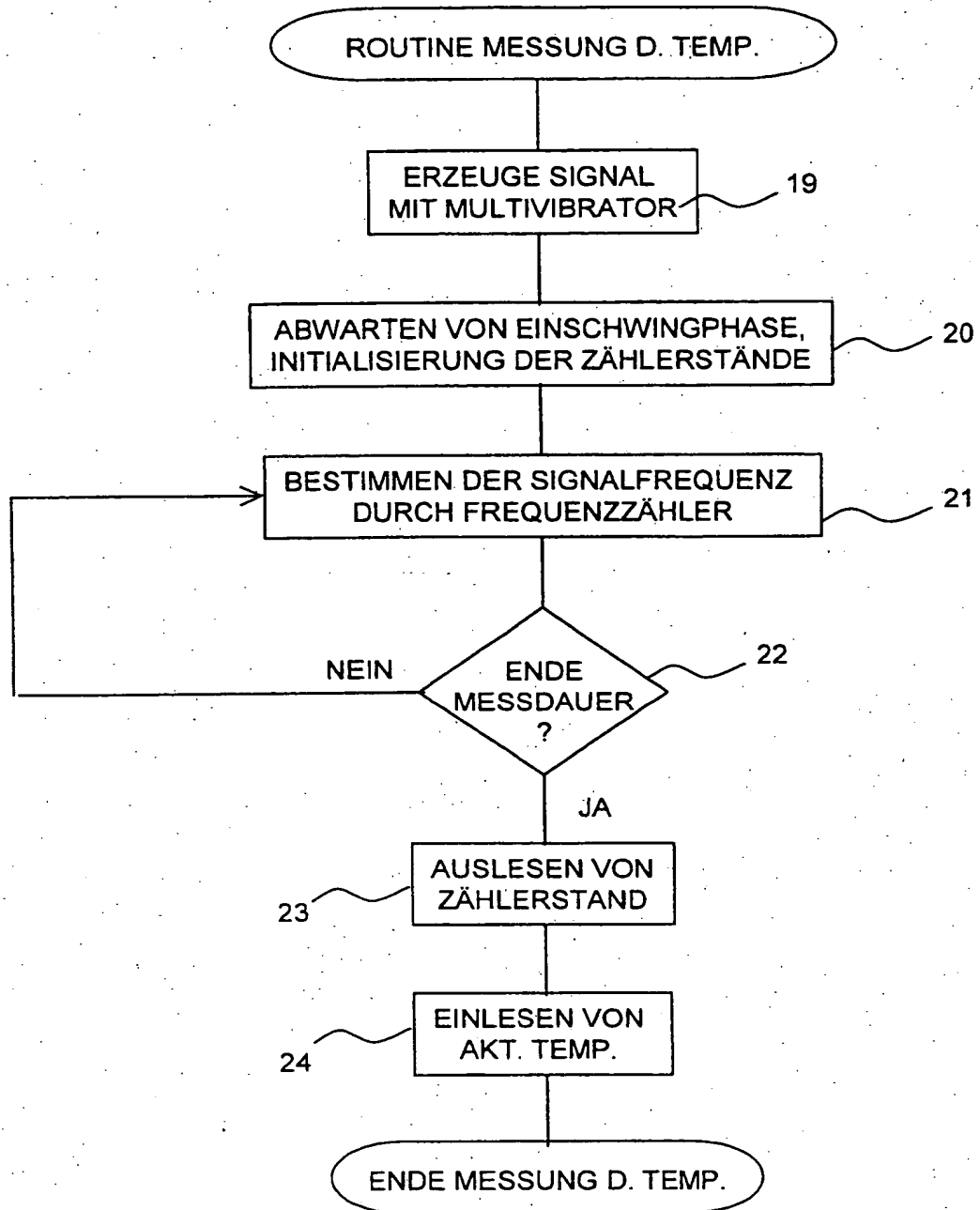


FIG. 4

**Method and device for determining an operating temperature of a semiconductor component**

Patent Number: US2002173930  
Publication date: 2002-11-21  
Inventor(s): PERNER MARTIN (DE)  
Applicant(s):  
Requested Patent: DE10114825  
Application Number: US20020105878 20020325  
Priority Number(s): DE20011014825 20010326  
IPC Classification: G01K1/00; G01K3/00; G01K5/00; G01K7/00; G01K9/00; G01K11/00; G01K13/00; G06F15/00; G01K17/00  
EC Classification: G01K7/01, H01L23/34  
Equivalents:

**Abstract**

The invention relates to a method and a device for [sic] determining an operating temperature of a semiconductor component during operation, the semiconductor component comprising a PROM memory area which can be read from the outside, and a programming device for programming the PROM memory area of the semiconductor component. In order to permit an analog/digital on-chip temperature measurement on a semiconductor component in a simple, fast and space-saving fashion, the method comprises the steps: a) generation of a first temperature in the semiconductor component, b) generation of a measurement signal by a multivibrator which comprises a measuring circuit and a driver circuit, the frequency of the measurement signal depending on the temperature of the measuring circuit in the semiconductor component, c) sensing of the frequency of the measurement signal in a predefined measuring interval by means of a frequency counter, d) storage of the sensed frequency in the PROM memory area of the semiconductor component by means of the programming device, and e) repetition of the steps b) to d) at a second temperature so that the frequency sensed at the first temperature and the frequency sensed at the second temperature is [sic] stored in the PROM memory area of the semiconductor component

Data supplied from the esp@cenet database - I2

DOCKET NO: P2002,1013

SERIAL NO: \_\_\_\_\_

APPLICANT: Martin Perner

**LERNER AND GREENBERG P.A.**

**P.O. BOX 2480**

**HOLLYWOOD, FLORIDA 33022**

**TEL. (954) 925-1100**